

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Energetika dopravních systémů
The power Engineering of Transport Systems

2013

Tomáš Dirbák

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Dirbák**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Energetika dopravních systémů**
The Power Engineering of Transport Systems

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky napájení elektrické trakce
2. Trakční stanice a vedení
3. Negativní vlivy elektrické trakce

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Horák, K., Drábek, J., Paleček, J., Pokorný, M.: Energetika a trakce, ALFA, Bratislava, 1983
2. Další literatura podle pokynů vedoucího bakalářské práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 7. 5. 2013

.....*David*.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Petru Krejčímu, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou elektrické trakce a věcí s ní spojenou. Nejdříve zde popisuje rozdělení trakce podle napětových hladin a použití daných vozidel (ČD, MHD), dále se zabývá problematikou trakčních napájecích stanic a vedení, problematikou napájení pro stejnosměrnou soustavu 3 kV a střídavou soustavu 25 kV. Na závěr je zde rozebrána problematika nepříznivých účinků elektrické trakce, vlivy bludných proudů, nesymetrie a možnosti omezení těchto nepříznivých vlivů.

Klíčová slova

Výhody a nevýhody elektrické trakce, závislá a nezávislá trakce, trakční napájecí stanice a vedení, nepříznivé účinky elektrické trakce.

Abstract

This thesis deals with electric traction and things associated with it. First, here describes the distribution of traction by voltage levels and use of the vehicles (ČD, MHD), discusses the issue of traction power stations and lines, the issue of power for 3 kV DC and 25 kV AC. Finally, here dealt with the issue of adverse effects of electric traction, the effects of stray currents, asymmetry and options to limit these adverse effects.

Key words

Advantages and disadvantages of electric traction, dependent and independent traction, traction power stations and lines, adverse effects of electric traction.

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
U	V	Napětí
I	A	Proud
f	Hz	Frekvence
P	W	Činný výkon
S	VA	Zdánlivý výkon
ρ	%	Nesymetrie

Seznam použitých zkratek

Zkratka

Význam

ČR

Česká republika

ČD

České dráhy

MHD

Městská hromadná doprava

VN

Vysoké napětí

VVN

Velmi vysoké napětí

AC

Střídavé napětí

DC

Stejnoseměrné napětí

TNS

Trakční napájecí stanice

Obsah

Úvod	1
1. Rozbor problematiky napájení elektrické trakce	2
1.1 Výhody elektrické trakce	2
1.2 Nevýhody elektrické trakce	2
1.3 Rozdělení elektrické trakce v ČR	2
1.3.1 Nezávislá trakce	3
1.3.2 Závislá trakce	3
1.4 Elektrické poměry na trolejovém vedení (ČR)	5
2. Trakční stanice a vedení	8
2.1 Pevná elektrická trakční zařízení	8
2.1.1 Jednostranné napájení	8
2.1.2 Dvoustranné napájení	9
2.1.3 Čtyřstranné napájení	10
2.2.1 Trakční napájecí stanice (TNS)	11
2.2.2 TNS pro soustavu 3 kV ss	11
2.2.3 TNS pro soustavu 25 kV, 50 Hz	13
3. Nepříznivé účinky elektrické trakce	15
3.1 Vliv zemních proudových polí na korozi kovových zařízení uložených v zemi	15
3.2 Vliv jednofázových drah na symetrii sítě	18
3.2.1 Jednofázové připojení	19
3.2.2 V – spojení	20
3.3 Možnosti omezení nesymetrie	21
3.3.1 Speciální zapojení transformátorů	22
3.3.2 Speciální konstrukce transformátorů	23
3.4 Měření nesymetrie	23
3.4.1 Technická specifikace ENA330	24
3.4.2 Ukázka vyhodnocení měření napět'ové nesymetrie	25
Závěr	29
Použité zdroje literatury:	30

Úvod

Historie železniční dopravy v České republice se začala psát od 20. let 19. století. Železnice byly budovány primárně pro nákladní dopravu, přičemž se střídala období, kdy byly budovány a provozovány komerční subjekty, s obdobími zestátňování, státních investic či podpory. Za první lokomotivu vůbec je považován bezejmenný parou poháněný stroj Angličana Richarda Trevithicka z roku 1804. Obrovský rozvoj parostrojní železniční dopravy však nastává až na přelomu 20. a 30. let devatenáctého století, z dnešního pohledu s malým náskokem před svým elektrickým konkurentem.

Od roku 1837 vzniklo několik experimentů s nezávislou trakcí poháněnou galvanickými články, které ovšem neměly praktické využití. Pravděpodobně první elektrickou lokomotivou, která nebyla poháněna energií z mobilních akumulátorů, nýbrž sbírala proud ze statických trakčních zařízení, byl roku 1879 stroj Wernera von Siemense. Na výstavě v Berlíně předvedl Siemens stroj o výkonu 2,2 kW napájený stejnosměrným napětím o velikosti 150 V. K přívodu proudu využil třetí izolovanou kolej dnes používanou např. u metra. Přesto se Siemens stal také duchovním otcem moderních napájecích systémů, neboť trakční vedení založené na závěsných lanech použil o 11 let později pro svoji tramvajovou dráhu v Berlíně.

Elektrická trakce se nejdříve prosadila tam, kde kouř a hluk parních lokomotiv nejvíce vadil: ve městech (tramvaje), v tunelech a dolech. V Londýně byla první trať metra s elektrickým pohonem otevřena roku 1890, elektrická trakce také umožnila stavět tunely ve větší hloubce, protože nepotřebovaly větrání.

Využití elektrické trakce na delších úsecích i hlavních tratích bylo v té době ještě omezeno neexistencí vhodných výkonových zařízení a uspokojivého vyřešení regulace výkonu lokomotiv. Vzhledem k tomu, že neexistovaly výkonové usměrňovače a způsob eliminování ztrát elektrické energie vysokým napětím, přicházelo v úvahu pouze využití střídavého proudu, a to jak k výrobě, tak k pohonu vozidel. Jako ideální se nejdříve zdál asynchronní třífázový motor s kotvou nakrátko a to zvláště pro svou jednoduchou bezkomutátorovou konstrukci. V Německu byly první pokusy s třífázovým pohonem prováděny v letech 1902-1903 firmami Siemens-Schuckert a AEG na vojenské trati. Zkušební vozy obou firem dosáhly rychlosti 200km/h, avšak komplikovaný systém přívodu elektrického proudu k vozům (třívodičové trolejové vedení, dráty svisle nad sebou), složité sběrače a zvláště nedorozšířený způsob regulace otáček třífázového asynchronního motoru (možné jen změnou frekvence napájecího proudu, tehdy použitelné pouze kaskádní zapojení) znamenal přechod k jednofázovému pohonu.

Třífázový pohon vozidel zaznamenal svůj návrat až v současnosti po vynálezu elektronických střídačů, umožňujících plynulou změnu frekvence proudu. Pro jednofázový pohon se dal využít sériový komutátorový motor. [1]

1. Rozbor problematiky napájení elektrické trakce

1.1 Výhody elektrické trakce

- a) Dobrá trakční charakteristika
 - Pomalý rozběh motoru
 - Snadné a hospodárné řízení otáček motoru
- b) Snadné konstrukční přizpůsobení vozidlu
 - Možnost tvarového přizpůsobení motoru
 - Hnací výkon je možné rozdělit na více motorů
 - Jednoduchý převod na hnací kola ozubenými koly s trvalým záběrem
 - Otřesuvzdorný motor
 - Malá hmotnost a rozměry motoru
- c) Výhodné provozní vlastnosti
 - Velká energetická účinnost
 - Dlouhá životnost
 - Snadná obsluha
 - Provoz neznečišťuje životní prostředí

1.2 Nevýhody elektrické trakce

- a) Vysoké náklady na stacionární elektrická zařízení
- b) Závislost na dodávce elektrické energie
- c) Větší odběr elektrické energie v zimě na vytápění vozů

1.3 Rozdělení elektrické trakce v ČR

- a) Druhy elektrické vozby
 - Hlavní dálkové dráhy
 - Městské dráhy
 - Předměstské dráhy
 - Podzemní dráhy (metro)
 - Průmyslové dráhy
 - Důlní dráhy (povrchové, hlubinné)
 - Silniční trolejové dráhy
- b) Proudové soustavy trakčního vozu
 - Stejnoseměrné soustavy:
 - 250 V – důlní hlubinné dráhy
 - 600 V – městské dráhy kolejové a silniční trolejové
 - 750 V – metro
 - 1500 V – železnice a průmyslové dráhy
 - 3000 V – železnice a předměstské dráhy
 - Jednofázová střídavá soustava:
 - 25 kV, 50 Hz – hlavní dráhy

V jiných zemích se používají různá napětí a často nižší frekvence (16 2/3 nebo 25 Hz)

- c) Rozdělení podle přívodu elektrické energie do vozidla
 - Nezávislá trakce (zdroj elektrické energie je přímo ve vozidle)
 - Závislá trakce (elektrická energie je do vozidla přiváděna sběračem z trakčního vedení) [2]

1.3.1 Nezávislá trakce

Vozidlo není závislé na přívodu elektrické energie, protože zdroj elektrické energie je umístěn přímo ve vozidle.

Podle energie rozeznáváme:

- a) Benzínoelektrické
- b) Dieselelektrické
- c) Parní – turboelektrické
- d) Akumulátorové
- e) Setrvačnickové

1.3.2 Závislá trakce

Elektrická energie se přivádí do vozidla sběračem z trakčního vedení, tudíž je vozidlo závislé na rozvodu elektrického proudu.

Hnací vozidlo odebírá elektrickou energii buď to z trolejového vedení pantografovým sběračem, nebo z třetí kolejnice uložené izolovaně (metro). Trolejbusy mají vrchní trolejové vedení dvojpólové.

Závislá trakce je při výstavbě cenově náročnější než nezávislá trakce. Je třeba vybudovat stacionární elektrická zařízení (přívodní vedení VN a VVN, měnírny pro stejnosměrnou trakci, napájecí stanice pro střídavou trakci, spínací stanice, rozvodny trakčního proudu a trakčního vedení).

Vozidla pro závislou trakci

Rozděluje se podle druhu proudu, kterým je napájeno přívodní vedení a podle druhu proudu, kterým jsou napájeny trakční motory.

Vozidla pro stejnosměrnou soustavu

Trolejová vedení i trakční motory jsou napájeny stejnosměrným proudem. Používá se napětí 500, 750, 1000, 1500 a 3000 V. Používají se zde stejnosměrné motory se sériovým buzením. Obvykle jsou motory napájeny přímo z troleje a rychlost vozidla se řídí pomocí skupinového řazení motorů (sériově, sério-paralelně, paralelně) a řazením rozběhových rezistorů. Motory mají velký záběrný moment, velkou přetížitelnost a vysokou účinnost. Komutátorové napětí je z komutačních důvodů omezeno na 2000 V, a proto jsou při soustavě 3000 V vždy dva motory zapojeny trvale.

Vozidla pro jednofázovou soustavu s nízkou frekvencí

Používá se napětí 10 kV a frekvence 16 2/3 nebo 25 Hz. Trakční motor je jednofázový sériový komutátorový a napájí se přes transformátor sníženým napětím do 600 V. Nízké napětí a nízká frekvence se používají z důvodu horší komutace střídavého motoru v porovnání se stejnosměrným motorem. Touto soustavou jsou řešeny hlavní dráhy ve Švýcarsku, USA a dalších zemích. U nás tato soustava nebyla zavedena. Výhoda této soustavy spočívá v menším průřezu vedení a větší vzdálenosti mezi napájecími stanicemi. Velká nevýhoda ovšem je potřeba speciálních elektráren s generátory na nízkou frekvenci, případně měničů frekvence pro odběr z běžné sítě. Otáčky jsou řízeny přepínáním odboček transformátoru. [2]

Vozidla pro jednofázovou soustavu 50 Hz

Trolej je napájena napětím 10 až 25 kV s frekvencí 50 Hz. Napájecí stanice jsou připojeny na běžnou rozvodnou síť.

Napájení trakčních motorů je řešeno nejčastěji těmito způsoby

- a) V lokomotivě se změni jednofázová soustava na třífázovou v asynchronním měniči fází. Rychlost se řídí přepínáním počtu polů a zapojováním rezistorů do obvodu rotoru v mezistupních. Novější lokomotivy mají měniče frekvence. Pro složitost elektrického zařízení lokomotivy se tento systém používá velmi málo.
- b) V lokomotivě se změni střídavý proud na stejnosměrný. Odbočkový autotransformátor snižuje napětí troleje na napětí vhodné pro trakční motory. Nové lokomotivy mají polovodičové usměrňovače. Lokomotivní transformátor je konstruován jako autotransformátor s přepínáním odboček pro řízení napětí a rychlosti. Plynulé řízení napětí pro trakční motory je v moderních lokomotivách realizováno pomocí tyristorových regulátorů. [2]

Vozidla pro třífázovou soustavu 50 Hz

Přívod třífázové soustavy je řešen dvěma trolejemi a kolejnicí. Napětí přívodu je 10 kV 50 Hz. Trakční motory jsou asynchronní kroužkové napájeny přes transformátor vysokým napětím (až 25 kV). Třífázová soustava je výhodná pro dlouhé tratě s malým počtem stanic a křižovatek. Trakční motory mají jednoduchou a robustní konstrukci. Nevýhodné rozběhové vlastnosti. Řídicí obvody jsou velmi složité. Rychlost se řídí připojováním rezistorů do obvodu rotoru a přepínáním počtu polů.

Dvouproudová vozidla

Dvouproudová vozidla mohou jezdit pod trolejovým vedením různých soustav.

V ČR máme dvě hlavní soustavy

- a) Stejnosměrnou soustavu na napětí 3 kV
- b) Jednofázovou, střídavou soustavu pro napětí 25 kV 50 Hz

Konstruuji se speciální lokomotivy, které mohou pracovat pod oběma soustavami. Sběrače a trakční motory jsou pro obě soustavy společné.

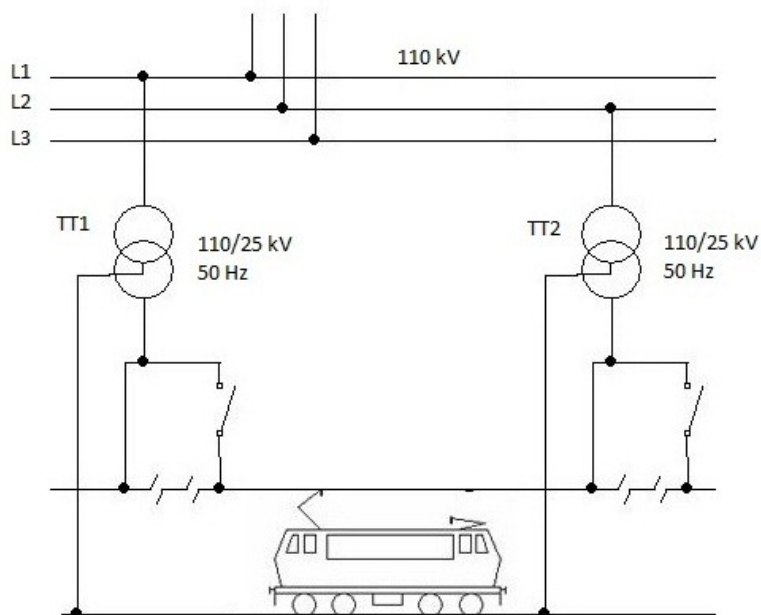
Pro střídavou soustavu má lokomotiva tlakovzdušný vypínač, transformátor s přepínáním odboček a usměrňovač.

Pro stejnosměrnou soustavu má lokomotiva vypínač s magnetickým zhášením oblouku a rozjezdové rezistory. Přepínání na potřebnou soustavu se děje v lokomotivě automaticky.

Jednofázové napájecí stanice

Jednofázová soustava 25 kV 50 Hz je v poslední době hodně preferována a její vývoj jde rychle dopředu. Rozvoj této soustavy souvisí s použitím polovodičových usměrňovačů v lokomotivách. Provoz systému je univerzální, od nejtěžších nákladních vlaků až po nejrychlejší osobní vlaky.

Schéma napájení jednofázové střídavé soustavy na napětí 25 kV 50 Hz je na obrázku 1. Napájecí stanice jsou zásobovány přímo z trojfázového rozvodu VVN. Trať musí být rozdělena na přibližně stejně zatížené úseky. Klade se důraz na rovnoměrné zatížení jednotlivých fází trojfázového rozvodu. Nesouměrnost nesmí být větší než 20% základního trojfázového zatížení. Používají se jednofázové trakční transformátory. [2]



Obr. 1 Schéma napájení jednofázové střídavé soustavy 25 kV, 50 Hz

1.4 Elektrické poměry na trolejovém vedení (ČR)

Rozdíly elektrických vlastností mezi vozidly řady 680 a vozidel doposud provozovaných na ČD:

- odběr proudu z trolejového vedení
- elektrické poměry na trolejovém vedení

Odběr proudu z trolejového vedení

Hnací vozidlo řady 680 je vybaveno celkem čtyřmi sběrači určeným po dvou pro trakční soustavy AC a DC.

Pro stejnosměrnou soustavu 3 kV jsou sběrače po jednom umístěny na hlavových vozech. Sběrač má na smykadle metalografitové obložení dovolující za jízdy odběr až 2050 A, zatím co při stání vozidla pouze 720 A. Statický přítlak se pohybuje mezi (70 – 90)N. Největší rozjezdový proud nepřesáhne 600 A, za jízdy plným výkonem může dosáhnout až 2000 A. Při rozjezdu se počítá s použitím obou sběračů, po jeho ukončení bude využíván pouze zadní.

Pro jednofázovou soustavu 25 kV, 50Hz jsou sběrače umístěny na druhém a šestém voze. Sběrač má na smykadle karbongrafitové obložení dovolující za jízdy odběr 400 A, zatím co při stání vozidla pouze 30 A. Statický přítlak je stejný (70 – 90)N. Největší rozjezdový proud nepřesáhne 80 A, za jízdy plným výkonem může dosáhnout až 240 A. Z hlediska dynamiky spolupráce sběrače s trolejovým drátem by neměly vzniknout potíže. Relativně nízká hodnota statického přítlaku však vyžaduje vyloučit na trolejovém vedení jakékoliv tzv. „tvrdé body“, které by způsobily odskok smykadla.

S ohledem na schéma trakčních obvodů budou napěťové poměry na trolejovém vedení stejnosměrné soustavy 3 kV podobné jako při provozu dnes používaných hnacích vozidel s pulzními měniči vyznačujícími se maloztrátovým rozjezdem.

Hnací vozidla jednofázové soustavy 25 kV, 50Hz provozovaná dosud na ČD používají na svém vstupním obvodu diodový trakční usměrňovač. Díky tomu vykazují účinník základní harmonické přibližně 0,84. Použití diodového trakčního usměrňovače dále vede ke vzniku spektra lichých harmonických v odebíraném proudu, počínaje složkou 150 Hz. Z těchto důvodů jsou trakční napájecí stanice vybaveny filtračně – kompenzačními zařízeními, které plní funkce

- Upravují účinník DPF TNS jako celku na hodnotu požadovanou dodavatelem elektrické energie (0,95)
- Omezují průnik harmonických proudů do sítě 110 k V s cílem snížení zkreslení časového průběhu napětí v připojovacím bodě TNS k síti 110 kV

Hnací vozidlo řady 680 je vybaveno čtyřkvadrantovým vstupním měničem jehož koncepce zajišťuje:

- Hodnotu účinníku DPF blízko 0,99
- Prakticky sinusový časový průběh proudu odebíraného hnacím vozidlem z trolejového vedení
- Přechod z trakčního režimu do režimu rekuperačního brždění

Analyzujeme formou číselného rozkladu příkladu vliv nové koncepce vozidel řady 680 na proudové poměry a energetické ztráty trolejového vedení soustavy 25 kV, 50 Hz ČD.

Vyjdeme z předpokladu, že v napájeném úseku je pouze jedno vozidlo řady 680, odebírající činný výkon

$$P_{680} = S_{680} = 4MW$$

Tomuto činnému výkonu odpovídá při očekávaném účinníku

$$DPF_{680} \cong 1$$

a při jmenovitém napětí trakčního vedení

$$U_{TV,n} = 25kV$$

hodnota odebíraného proudu

$$I_{680} = \frac{P_{680}}{U_{TV,n}} = \frac{4000}{25} = 160A$$

Naproti tomu dnes provozované hnací vozidlo s diodovým měničem má průměrný účinník

$$DPF_D \cong 0,84$$

odebírání při stejném činném příkonu

$$P_D = 4MW$$

zdánlivý příkon

$$S_D = \frac{P_D}{DPF_D} = \frac{4000}{0,84} = 4,76 MVA$$

kterému pak odpovídá hodnota proudu odebíraného „diodovým“ hnacím vozidlem

$$I_D = \frac{S_D}{U_{TV,n}} = \frac{4760}{25} = 190,4 A$$

Poměr hodnot obou proudů dává hodnotu

$$\frac{I_D}{I_{680}} = \frac{190,4}{160} = 1,19$$

Protože Jouelovy ztráty v ohmickém odporu trakčního vedení jsou za jinak stejných podmínek úměrné čtverci proudu, je poměr energetických ztrát při provozu klasických „diodových“ hnacích vozidel a vozidel řady 680 dán výrazem

$$\Delta P_{\%} = \left(\frac{I_D}{I_{680}} \right)^2 \cdot 100 = 1,19^2 \cdot 100 = 142\%$$

Z toho vyplývá, že energetické ztráty na trakčním vedení jsou při provozu stávajících hnacích vozidel o 42% větší než při provozu vozidel řady 680. [3]

2. Trakční stanice a vedení

2.1 Pevná elektrická trakční zařízení

Patří sem:

- 1) Trakční napájecí stanice (měnící nebo transformovny)
- 2) Trakční vedení

Způsoby napájení drah elektrizovaných stejnosměrnými TNPS

Trakční vedení, kterým je přiváděna elektrická energie z napájecích stanic k vozidlům, je děleno na jednotlivé vzájemně elektricky izolované úseky napájecí úseky. Délka napájecího úseku závisí

- a) Na druhu použité TNPS (výška napětí, frekvence)
- b) Na způsobu napájení

U stejnosměrných trakčních napájecích soustav se užívají způsoby napájení:

- a) Jednostranné
- b) Dvoustranné
- c) Čtyřstranné

2.1.1 Jednostranné napájení

Provádí se jako soustředěné (často u městských drah), kdy z jedné napájecí stanice (NS) je proud přiváděn kabely od několika napájecích úseků nebo jako rozložené, kdy NS napájí vždy jen dva sousední napájecí úseky.

Příklad soustředěného napájení čtyř napájecích úseků je na obr. 2. Čísly 1 až 4 jsou označeny napáječkové vypínače, které v případě poruchy nebo zkratu vypínají napájení příslušného úseku.

Při jízdě vlaků v napájecím úseku vzniká průtokem proudu trakčním vedením úbytek napětí, závislý na počtu vlaků v napájecím úseku a jejich vzdálenosti od napájecích stanic, na velikosti proudů odebíraných vozidly a na měrném odporu trakčního vedení (trolejového, kolejnic a přívodních kabelů). Tento úbytek ΔU_{\max} nesmí být větší než je dovolená hodnota ΔU_{dov} , kde

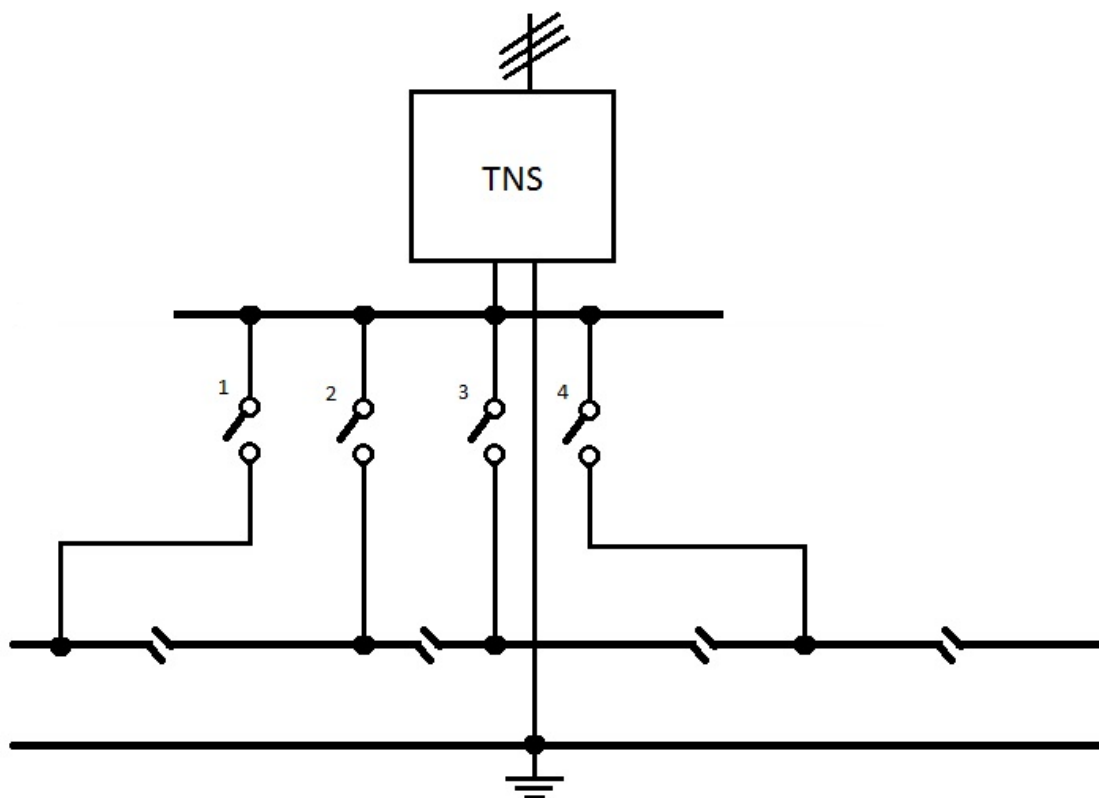
$$\Delta U_{dov} = U_{NS} - U_{\min}.$$

U_{NS} je napětí na svorkách napájecí stanice při jmenovitém zatížení, u stejnosměrných TNPS má být při zatížení jmenovitým proudem o 10% vyšší než je jmenovité napětí soustavy U_n , tedy $1,1U_n$

U_{\min} je nejnižší přípustné napětí v troleji, u stejnosměrných TNPS smí být $U_{\min} = 0,67 \cdot U_n$

Tedy $\Delta U_{dov} = (1,1 - 0,67) \cdot U_n = 0,43 \cdot U_n$

Pro stejnosměrné TNPS tedy platí $\Delta U_{\max} \leq 0,43 \cdot U_n$

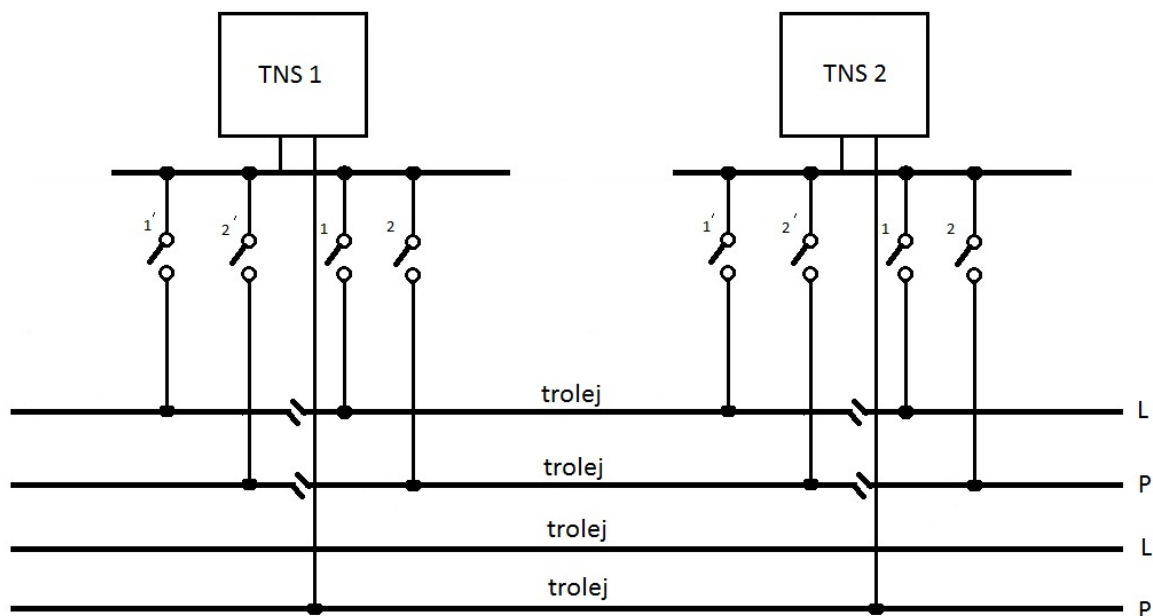


Obr. 2 Schéma jednostranného napájení

2.1.2 Dvoustranné napájení

Provádí se zpravidla jako rozložené. Jednotlivé napájecí úseky jsou napájeny ze dvou stran, takže s ohledem na úbytek napětí a proud tekoucí napáječkovým vypínačem je možné prodloužit délku úseku na dvojnásobek (při stejném odběru a stejném odporu trakčního vedení) oproti jednostrannému napájení.

Na obr. 3. je příklad dvoustranného rozloženého napájení dvoukolejné tratě. Oddělené napájení pravé a levé koleje se provádí proto, aby bylo možné provést výluky napájení jedné koleje při opravě nebo poruše a zlepšena lokalizace poruch.

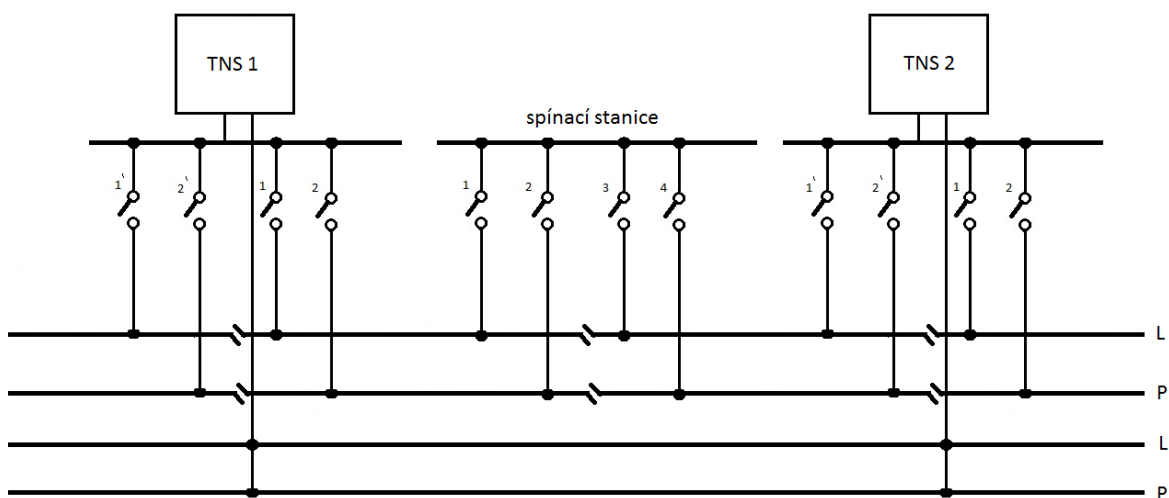


Obr. 3 Schéma dvoustranného napájení

2.1.3 Čtyřstranné napájení

Je možné ho provést na dvoukolejném dvoustranně napájeném úseku tak, že vprostřed úseku se umístí úsekový dělič a spínací stanice, která umožní vzájemné propojení všech částí trolejového vedení v úseku (obr. 4.). Při sepnutí vypínačů S_1 až S_4 je každé vozidlo v úseku napájeno přes všechny napáječkové vypínače 1, 2, 1', 2'. „Zvětší“ se tak vodičový průřez vedení a sníží úbytky napětí. Výhodou je také, že při poruše je možné vyřadit z provozu jen vedení na jedné polovině délky úseku a na jedné koleji.

Mezi dvěma NS může být i více spínacích stanic, které mohou být dostatečně doplněny přídatnými měnírnami. Toho se využívá na dopravně silně zatížených tratích s velkým stoupáním. [2]



Obr. 4 Schéma dvoustranného napájení

2.2.1 Trakční napájecí stanice (TNS)

Druhů napájecích stanic a možností jejich uspořádání je velké množství; proto bude pozornost věnována přednostně měnárnám pro systém 3 kV ss a trakčním transformovnám pro TNPS 25 kV, 50 Hz, které pracují na elektrizovaných tratích ČD a mají největší význam pro dopravu v ČR.

2.2.2 TNS pro soustavu 3 kV ss

Trakční měnárny pro TNPS 3 kV ss jsou v ČR napájeny ze 3-fázové sítě VVN 110 kV, 50 Hz. Přímé napájení ze sítě 110 kV je možné při použití transformátorů 110/3 kV, avšak konstrukce takových transformátorů je složitá, zvláště mají-li být provedeny jako regulační kvůli kompenzaci úbytků v síti VVN. Proto se u ČD používá napájení měnárny 3 kV ss s vysokonapětovým mezinapětím 22 kV. Protože výstavba transformovny 110/22 kV pouze k napájení měnárny by byla neekonomická, budují se tyto transformovny pokud možno společné pro napájení elektrické vozby a všeužitečného konzumu viz obr. 5. Uspořádání rozvodny 110/22 kV podle obr. 5 umožňuje nerušené napájení měnárny při poruše na jednom z přívodů 110 kV, při výpadku jednoho z transformátorů 110/22 kV. Transformátory jsou provedeny jako regulační, aby bylo možno kompenzovat změny napětí vlivem úbytků v síti 110 kV.

Zapojení vlastního usměrňovacího soustrojí, které se skládá z transformátorů 22/3 kV a diodového usměrňovače, může být provedeno různými způsoby. Zásada však je, že usměrnění musí být šesti nebo 12-tipulsní, aby zvlnění usměrněného napětí bylo minimální. Jen u TNPS 250 V ss se povoluje 3-pulsní usměrnění. Příklad můstkového zapojení usměrňovače na sekundáru 3-fázového transformátoru, které dává 6-tipulsní usměrněné napětí, je na obr. 6. Větve usměrňovače symbolizované značkou jednoduchých diod, byly původně tvořeny vícebodovými rtuťovými usměrňovači. V současnosti jsou nahrazeny řetězcí sériově a paralelně řazených křemíkových diod, polovodičové diody mají větší účinnost a menší nároky na obsluhu, měnárny je možné dálkově ovládat ze stanoviště elektrodispečera. [2]

2.2.3 TNS pro soustavu 25 kV, 50 Hz

Jsou napájeny přímo z 3-fázového všeužitečného rozvodu 110 kV. Mají následující přednosti

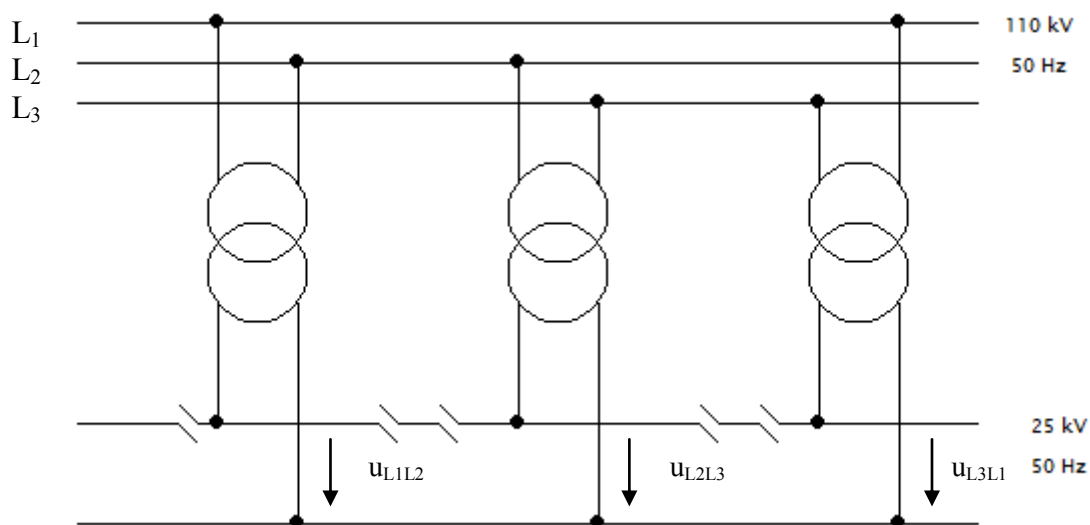
- Provádějí jednoduchou jednofázovou transformaci napětí
- Vzhledem k napětí 25 kV může být jejich vzdálenost až 50 km
- Činné ztráty transformoven jsou nízké
- Lze je provést jako venkovní, tedy bez nákladných staveb
- Mohou být jednoduše i dálkově řízené

Nevýhodami jsou

- Nesymetrické zatěžování 3-fázové sítě VVN
- Nesinusový proud odebíraný vozidly s usměrňovači, který způsobuje vznik vyšších harmonických ve trakčním vedení a napájecí soustavě
- Proměnlivý fázový posun základní harmonické proudu proti napětí v trakčním vedení, který znesnadňuje kompenzaci účinníku.

Aby účinek nepříznivých vlivů na síť 110 kV byl minimální, musí

- Napájecí 3-fázová síť VVN mít dostatečně velký zkratový výkon, aby nesymetrické zatížení nezpůsobilo nedovolenou nesymetrii úhlovou a napěťovou mezi fázemi
- Trakční výkonová zátěž být co nejrovnoměrněji rozdělená na všechny 3 fáze napájecí soustavy VVN.



Obr. 7 TNS pro střídavou soustavu 25 kV

Jedním z možných řešení je napájení pomocí jednofázových transformátorů připojených postupně na všechna tři sdružená napětí soustavy 110 kV (obr. 7). Za předpokladu, že zatížení transformoven je přibližně stejné a že jsou napájeny z téhož vedení VVN, vzniká jen nepatrná nesymetrie v síti 110 kV. Druhý z předpokladů však nelze členit energetické soustavě ČR splnit, proto se tento způsob napájení u ČD nepoužívá. Je použit například v Rusku, kde jsou pro něj vhodné podmínky. Při tomto způsobu napájení je napěťový rozdíl mezi sousedními napájecími úseky rovný 25

kV, proto se mezi úseky vkládá úsek bez napájení, který vozidla projíždějí setrvačností. Při použití pouze úsekového děliče by mohl oblouk vytažený sběračem vozidla při jeho přejíždění způsobit mezifázový zkrat.

Na ČD se používá zapojení dvou jednofázových transformátorů do V. Primáry transformátorů jsou zapojeny na rozdílná sdružená napětí, při stejném odběru v obou napájecích úsecích a při stejném napětí a účinníku v sekundárech vzniká proudová a výkonová nesymetrie 50%. Při jiných podmínkách se může proudová nesymetrie měnit v rozmezích 0 až 100%. Nesymetrie způsobená nevyváženým trakčním odběrem má nepříznivé účinky na 3-fázovou síť 110 kV. Napětíová nesymetrie je povolena normou ČSN EN 50160 0-2% a je definována jako poměr zpětné ku sousledné složce napětí. Při jednofázovém odběru z trojfázové symetrické soustavy platí pro nesymetrii přibližný vztah.[2]

$$\rho_U = \frac{P_1}{P_z} \cdot 100 \leq 2\%$$

3. Nepříznivé účinky elektrické trakce

Provoz elektrických drah sebou nese určité technické problémy svými vlivy na elektrickou síť, kovová zařízení uložená v zemi, zabezpečovací zařízení, rádiové a telekomunikační spoje. O jevech, které vznikají zaváděním polovodičových prvků elektrické trakce, bylo pojednáno v kapitole 13.

3.1 Vliv zemních proudových polí na korozi kovových zařízení uložených v zemi

Na všechna kovová zařízení uložená v zemi působí vnější vlivy, které mohou způsobit korozi. Zařízení, která jsou nejvíce ohrožena, se nacházejí v blízkosti zemních proudových polí.

Zemní proudová pole vznikají z mnoha příčin. Vznikají buď přirozenou cestou, nebo jsou vytvářeny uměle.

- a) Přirozená zemní proudová pole – pole elektrochemického, filtračního a difuzního původu. Tato pole existují v přírodě nezávisle na činnosti člověka.
- b) Umělá zemní proudová pole – vznikají výhradně v okolí stejnosměrně napájených elektrických zařízení, která jsou nedostatečně izolována od země, nebo používají země jako zpětný vodič. Proudů unikajících z těchto zařízení a tekoucích zemí, se nazývají bludné proudy a jsou nejnebezpečnější z hlediska koroze. Základním představitelem takového zařízení (a zdrojem nejsilnějších proudových polí) je stejnosměrná elektrická trakce.

Umělá zemní proudová pole

Nejsilnější zemní pole jsou tvořena bludnými proudy v okolí tratí elektrizovaných stejnosměrnou trakční soustavou. Zpětné trakční proudy procházejí kolejnicemi, které jsou uloženy na pražcích a šterkovém loži a nejsou tudíž dokonale izolovány od země. Část zpětného proudu proto vniká do země a dosahuje poměrně velkých hodnot. Podle čistoty šterkového lože a vzdálenosti paty kolejnice od kolejového lože, činí tato část 15-60% celkové hodnoty.

Stejnoseměrný proud tekoucí zemí se uzavírá cestou nejmenšího odporu a prochází půdami s malým měrným odporem. Jestliže se v půdě nachází nedokonale izolované kovové zařízení (potrubí, kabel, nádrž) je proud tímto zařízením veden a vystupuje v blízkosti napájecí stanice (NS) do země. Vstupem trakčního proudu do NS se elektrický obvod uzavírá.

Na kovových úložných zařízeních se vytvářejí tři potenciálová pásma

- a) Katodické pásmo, kde proud vstupuje z okolní půdy do úložného zařízení, na ní z hlediska elektrochemické koroze nebezpečné, ale vlivem vzniku vodíku na anodě dochází ke křehnutí materiálu a tím ke zmenšení jeho pevnosti (nebezpečné hlavně u plynovodů).
- b) Neutrální pásmo, kde bludné proudy jen protékají, ani tato oblast není ohrožena elektrochemickou korozí.
- c) Anodické pásmo, ve kterém vystupují bludné proudy z úložných zařízení do půdy, tato oblast je z hlediska elektrochemické koroze velmi nebezpečná, dochází zde

k elektrolytickému rozpouštění kovu, které se projevuje bodovým proděravěním kovu, přičemž v místě poruchy je kov čistý, bez rzi.

Množství vyloučeného kovu se řídí podle Faradayova zákona:

$$M = A \cdot I \cdot t$$

M je množství vyloučeného kovu

A je elektrochemický ekvivalent kovu

I je proud odtékající místem poruchy do země

T je čas působení

Tab. 1: Elektrochemické ekvivalenty nejpoužívanějších kovů

Kov	Sn	Al	Cu	Pb	Fe
$A(\text{kg A}^{-1} \text{s}^{-1}) \cdot 10^{-9}$	338,6	93,3	332,3	1073,3	289,3

Z této tabulky jde vidět, že korozně nejodolnější je z běžně používaných materiálů hliník a nejméně odolné je olovo, které je z hlediska elektrolytických pochodů, vzhledem ke svému elektrochemickému ekvivalentu nevýhodným materiálem.

Ochrana úložných zařízení proti korozi bludnými proudy

Ochrana proti korozi bludnými proudy představuje velmi složitý problém z několika důvodů. Především jsou jednotlivé případy ohrožení kovových zařízení tak závislé na místních podmínkách, že není možno postupovat podle určité šablony, ale je potřebné vycházet z proměření a rozborů každého jednotlivého případu a hledat nejvhodnější řešení, pro něj specifické.

Ochranu proti bludným proudům je vhodné řešit kombinací několika způsobů ochrany. Často při tom ještě musí být protikorozní ochrana v souladu s jinými druhy ochrany, jako např. ochranou před vznikem nebezpečného dotykového napětí, před úderem blesku apod.

Ochranná opatření často změni rozložení zemního proudového pole a tím i korozní poměry nejen na chráněném zařízení, ale i všech ostatních. Je tedy nebezpečí, že ochranou jednoho zařízení by se mohly zhoršit korozní podmínky u zařízení sousedních a návrh ochrany proto musí k této možnosti přihlížet. Ideálním řešením je, provést v dané oblasti protikorozní ochranu všech úložných zařízení současně.

Podle způsobu provedení, rozdělujeme protikorozní ochranu do tří skupin

- Opatření k omezení vzniku bludných proudů
- Pasivní ochrana
- Aktivní ochrana

Omezení vzniku bludných proudů

K nejúčinnějším opatřením pro omezení vzniku bludných proudů u stejnosměrné trakce patří

- Zvětšení přechodového odporu kolej – zem (dobré odvodnění, čisté štěrkové lože, u betonových pražců odizolování koleje od pražců)
- Zvětšení vodivosti kolejí (svařování kolejí, kolejnicové spojky)
- Opatřeními v trakčním systému (správně dimenzované zpětné kabely a pravidelná kontrola jejich izolačního stavu.
- Všechna zařízení, u kterých se ochrana proti vzniku nebezpečného dotykového napětí provádí ukolejněním, připojit ke kolejnicím přes průrazku

Pasivní ochrana

Pasivní ochranou jsou opatření, která omezují vstup a výstup bludných proudů do zařízení a ze zařízení, nebo omezují tok proudů přes něj.

Nejpoužívanější druhy pasivních ochranných opatření jsou

- Izolace (asfaltová, z plastických hmot, speciální)
- Stavební ochrana (uložení v kanále, v chráničce, v kolektoru)
- Obsypávání úložného zařízení nevodivou zeminou, pískem nebo štěrskem
- Volby trasy úložného zařízení co nejdále od zdrojů bludných proudů a v zemině s co největší vodivostí.

Aktivní ochrana

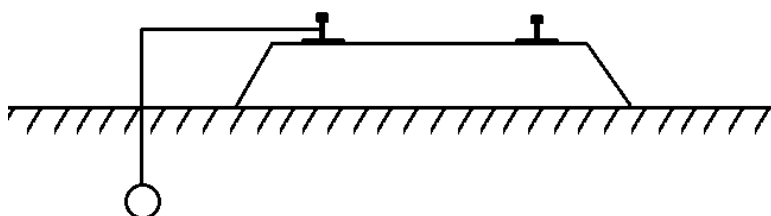
Aktivní ochrana zajišťuje trvalý záporný potenciál úložného zařízení a odvod proudů z úložných zařízení jen v místech připojení ochrany.

Trvalým záporným zpolarizováním kovových zařízení se zamezí vzniku anodických oblastí na úložném zařízení.

Aktivní ochranu je potřebné chápat jako ochranu doplňkovou. Každá aktivní ochrana předpokládá dokonalou ochranu pasivní.

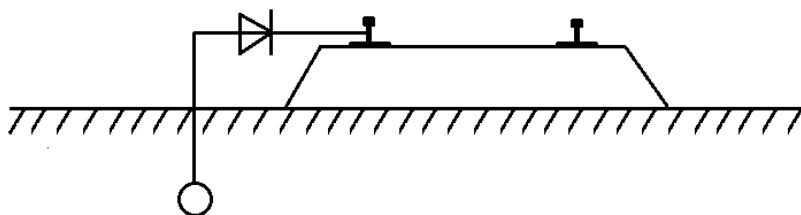
Aktivní ochrana se řeší několika způsoby:

- Přímá drenáž – je nejjednodušší a také nejméně používaná. Nemůže se použít, když se na kolejnicích mění polarita napětí



Obr. 8 Přímá drenáž

- Polarizovaná drenáž – je drenáž doplněná o usměrňovač, který zamezí protékání proudu ve směru z kolejnice do úložného zařízení. Použití u ČD.



Obr. 9 Polarizovaná drenáž

- c) Zesílená polarizovaná drenáž – užívá se tam, kde normální drenáž nestačí snížit potenciál anodického pásma úložného zařízení nebo tam, kde kromě bludných proudů působí i prostá půdní koroze
- d) Obětní anoda – je vytvořena ze slitin kovů s vysokým záporným potenciálem (Mg, Zn, Al). Tato elektroda se vodivě spojí s úložným zařízením a vytvoří s ním člunek, ve kterém úložné zařízení přebírá funkci stálé katody a obětní elektroda funkci anody, čímž dochází k jejímu rychlému korodování – elektrochemickému rozpouštění
- e) Katodická ochrana – princip této ochrany je stejný jako při ochraně obětní anodou, ochranný účinek je zde umocněn užitím vnějšího zdroje, který umožňuje vyrábět pomocnou elektrodu (anodu) z libovolného kovu. Aby se docílila co největší životnosti anody, vyrábí se z velkých železných částí

Katodická ochrana je u nás nejrozšířenější, užívá se převážně při ochraně plynovodů, ropovodů a vodovodních řádů. Pracovní napětí katodické ochrany bývá 10 – 50 V a odebírá proudy 10 – 50 A, takže výkon na stejnosměrné straně se pohybuje v rozmezí 100 – 2500 W. [2]

3.2 Vliv jednofázových drah na symetrii sítě

Zatímco trakční napájecí stanice stejnosměrných drah působí na napájecí síť 110 kV jako souměrný třífázový spotřebič, způsobují dráhy s jednofázovou trakční proudovou soustavou dosti značnou nesymetrii.

Nesymetrie je definována jako poměr zpětné a sousledné složky proudu, respektive napětí v daném místě. Rozeznáváme tedy nesymetrii proudovou a napěťovou a jejich velikost se posuzuje podle velikosti součinitelů nesymetrie:

$$\rho_i = \frac{I_2}{I_1} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$\rho_u = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100 \quad [\%]$$

Kde I_2 , U_2 jsou zpětné složky proudů a napětí

I_1 , U_1 jsou sousledné složky proudů a napětí.

Proudová nesymetrie vzniká jako důsledek připojení nesymetrické zátěže (např. jednofázového spotřebiče) na třífázovou soustavu a její velikost se prakticky nemění po celé délce

přenosu mezi spotřebičem a zdrojem (pokud nejsou připojeny jiné spotřebiče). Způsobuje vyrovnávací proudy a tím i zvětšení ztrát. Napěťová nesymetrie je důsledkem nesymetrie proudové a při symetrickém zdroji její velikost roste až po nejvyšší hodnotu u nesymetrického spotřebiče. Napěťová nesymetrie snižuje zatížitelnost spotřebičů, asynchronní motory zatěžuje zpětným momentem, zvětšuje ztráty a snižuje životnost spotřebičů.

Přesné dovolené hodnoty jsou uvedeny v normě ČSN EN 50160.

Citace z normy

„ČSN EN 50160, ed.3:Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí

Kapitola 6 Charakteristiky dodávky elektrické energie VVN

Nesymetrie napájecího napětí

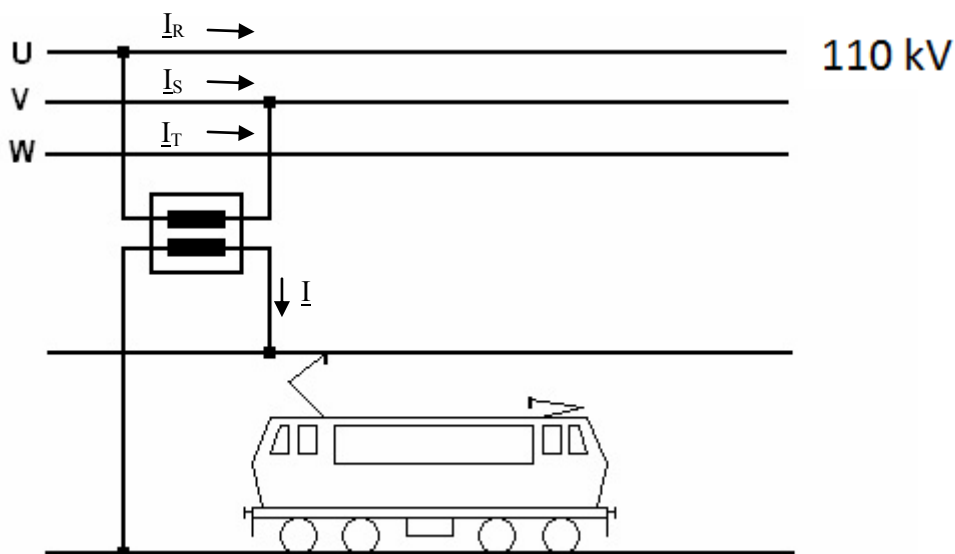
Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0 až 2 % sousledné složky.

POZNÁMKA 1: V některých oblastech může být nesymetrie ve trojfázových předávacích místech do 3 %“.

3.2.1 Jednofázové připojení

Na obrázku jsou znázorněny proudy při jednofázovém připojení. Velikost trakčního proudu I je v dalších výpočtech přepočítána na primár transformátoru. Z obrázku vyplývá:

$$\underline{I}_R = \underline{I}, \quad \underline{I}_S = -\underline{I}, \quad \underline{I}_T = 0$$



Obr. 10 Jednofázové připojení

Souměrné složky:

$$\underline{I}_1 = \frac{1}{3} \cdot (\underline{I}_R + \underline{a} \cdot \underline{I}_S + \underline{a}^2 \cdot \underline{I}_T) = \frac{1}{3} \underline{I} (1 - \underline{a})$$

$$\underline{I}_2 = \frac{1}{3} \cdot (\underline{I}_R + \underline{a}^2 \cdot \underline{I}_S + \underline{a} \cdot \underline{I}_T) = \frac{1}{3} \underline{I} (1 - \underline{a}^2)$$

Absolutní hodnoty:

$$I_1 = \frac{1}{\sqrt{3}} I, \quad I_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} I$$

A součinitel proudové nesymetrie:

$$\rho_i = \frac{I_2}{I_1} \cdot 100 = 100\%$$

Bez ohledu na velikost a charakter trakčního odběru je u tohoto připojení velikost proudové nesymetrie konstantní a rovná 100%.

3.2.2 V - spojení

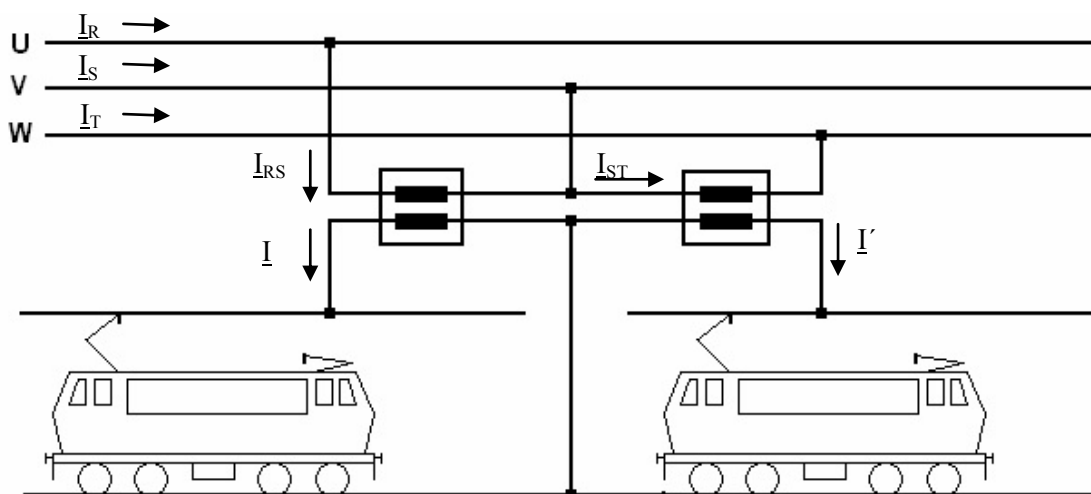
Toto spojení je na obrázku, každý transformátor napájí jiný úsek trakčního vedení proudy \underline{I} a \underline{I}' . Z obrázku vyplývá:

$$\underline{I}_{RS} = \underline{I}, \quad \underline{I}_{ST} = \underline{I}', \quad \underline{I}_{TR} = 0$$

$$\underline{I}_R = \underline{I}_{RS} - \underline{I}_{TR} = \underline{I}$$

$$\underline{I}_S = \underline{I}_{ST} - \underline{I}_{RS} = \underline{I}' - \underline{I}$$

$$\underline{I}_T = \underline{I}_{TR} - \underline{I}_{ST} = \underline{I}'$$



Obr. 11 V-spojení

Souměrné složky:

$$\underline{I}_1 = \frac{1}{3}(\underline{I}_R + \underline{a}\underline{I}_S + \underline{a}^2\underline{I}_T) = \frac{1}{3}(\underline{I} + \underline{a}\underline{I}' - \underline{a}\underline{I} - \underline{a}^2\underline{I}') = \frac{1}{3}(1-a)(\underline{I} + \underline{a}\underline{I}')$$

$$\underline{I}_2 = \frac{1}{3}(\underline{I}_R + \underline{a}^2\underline{I}_S + \underline{a}\underline{I}_T) = \frac{1}{3}(\underline{I} + \underline{a}^2\underline{I}' - \underline{a}^2\underline{I} - \underline{a}\underline{I}') = \frac{1}{3}(1-a)[\underline{I}(1+a) - \underline{a}\underline{I}']$$

Konečný vztah pro součinitel proudové nesymetrie:

$$\rho_i = \sqrt{\frac{1+k^2-2k\cos(\delta+60^\circ)}{1+k^2+2k\cos\delta}} \cdot 100$$

Kde δ je rozdíl mezi fázovými posuny.

Velikost proudové nesymetrie se mění se změnami velikostí a fází zátěží. Některé hodnoty pro vybrané případy zátěží. [2] [4]

- a) Zátěže jsou v obou úsecích shodné, tj. $k=1$, $\delta=0$: $\rho_i=50\%$
- b) Zátěž je pouze v jednom úseku, tj. $k=0$ (případ jednofázového připojení) $\rho_i=100\%$

3.3 Možnosti omezení nesymetrie

Na velikost nesymetrie způsobené nesymetrickým spotřebičem mají vliv také jiné odběry v téže síti. Pokud převládají souměrné odběry, je ρ_i malé. Pro jednofázové připojení trakčního transformátoru dostáváme:

$$\rho_i = \frac{I_2}{I_1} \cdot 100 = \frac{\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot I}{\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot I + I_z} \cdot 100$$

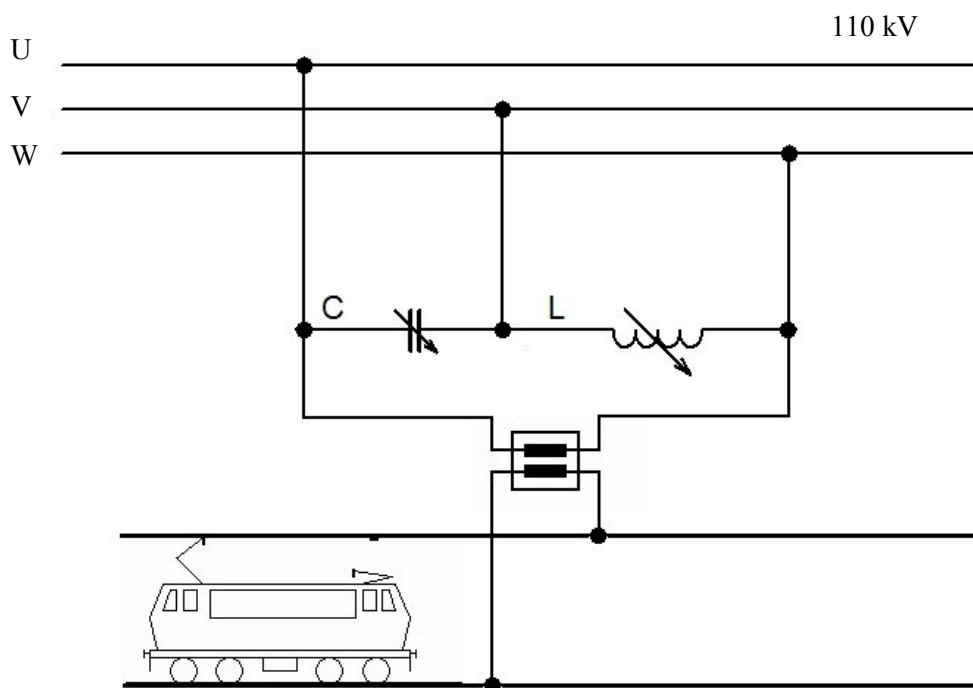
kde I_z je proud vyvolaný souměrnou třífázovou zátěží (odebírá pouze souslednou složku).

Jestliže položíme $I_z = n \cdot I$

$$\text{dostáváme: } \rho_i = \frac{1}{\sqrt{3}n+1} \cdot 100$$

zvětšováním souměrného odběru klesá ρ_i .

U střídavé trakce se pro snížení nesymetrie jednotlivé trakční transformátory v sousedních trakčních transformovnách připojují vždy na jiné dvě fáze téhož vedení (sítě).



Obr. 12 zapojení omezení nesymetrie

Určitou možnost pro omezení nesymetrie odběru představuje zapojení na obrázku. Proměnné symetrické prvky L a C mohou vykompenzovat nesymetrii trakčního odběru pouze pro $\cos \phi \in (1; 0,866)$, přitom ovšem zhoršují účinnost v síti VVN. Vzhledem k tomu, že účinnost trakčního konzumu u střídavých drah značně kolísá (s nejnižšími hodnotami kolem 0,6 a průměrnými hodnotami kolem 0,75), je nevyhnutelné řešit symetrizaci v komplexu s řešením kompenzace účinnosti.

Pro orientaci o možnosti jednofázového připojení trakční transformovny v určitém místě sítě VVN slouží přibližný vztah pro součinitel napětíové nesymetrie:

$$\rho_u \cong \frac{S^{(1)}}{S_{sk}^{(3)} 0,01} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde $S^{(1)}$ je výkon jednofázového odběru $[MVA]$

$S_{sk}^{(3)}$ je souměrný třífázový zkratový výkon sítě vvn v místě připojení $[MVA]$

Měření sousledných a zpětných složek proudů se provádí většinou statickými filtry, které propouštějí jen složku souslednou nebo zpětnou podle sledu fází jejich připojení.

3.3.1 Speciální zapojení transformátorů

a) V-spojení, popsáno v kapitole 3.2.2



Obr. 14 Analyzátor kvality elektřiny ENA330

3.4.1 Technická specifikace ENA330

Intervaly ukládání	k*0,2s/ 3s/ k*1min/ 10min/ 15min/ 2h
Pracovní teplota	-25 až +50°C
Skladování	-30 až +80°C
Rozměry	66 x 308 x 257mm (v x š x h)
Hmotnost	1,5kg
Napět'ové vstupy	
Počet vstupů	4
Vstupní rozsahy	450V, 250V, 110V, 65V (RMS)
Šířka pásma	45Hz až 2,5kHz
Vstupní impedance	200kOhm, 10pF
Izolační pevnost	4,2kV RMS, 50Hz, 1min
Přesnost	+/-0,1%
Zapojení	1-fázové, 3-fázové, 3-fázové + N, hvězda, trojúhelník a Aron
Proudové vstupy	
Počet vstupů	4
Vstupní rozsah	dle použitých proudových kleští
Šířka pásma	45Hz až 2,5kHz
Přesnost	+/-0,1%
Normy	
Bezpečnost	ČSN EN 60950
EMC	ČSN EN 61000-6-2, ČSN EN 61000-4-2 až 6

Hardware

Operační paměť	512MB RAM
Processor	Intel® Celeron® M
HDD	CF 1GB
Rozhraní	USB, Ethernet
A/D převodník	16 bitů
Vzorkovací frekvence	9600S/s, 19200S/s, 38400S/s
Napájení	180 až 265V AC, 47 až 63Hz
Příkon	20VA
[5]	

3.4.2 Ukázka vyhodnocení měření napět'ové nesymetrie

Jako příklad je uvedeno měření provedené na Přerovsku a to pro období 2005, 2008 a 2012 na síti 110 kV.

Citace z normy

„ČSN EN 50160, ed.3:Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí

Kapitola 6 Charakteristiky dodávky elektrické energie VVN

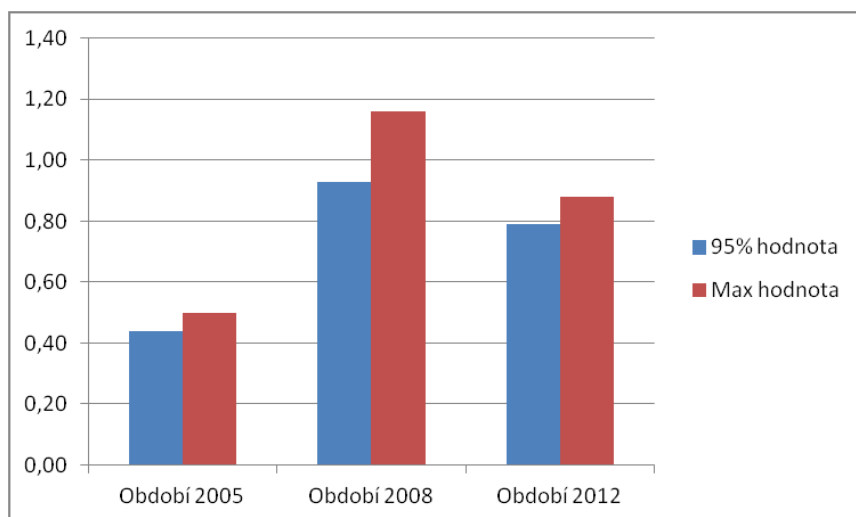
Nesymetrie napájecího napětí

Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0 až 2 % sousledné složky.

POZNÁMKA 1: V některých oblastech může být nesymetrie ve trojfázových předávacích místech do 3 %."

Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot

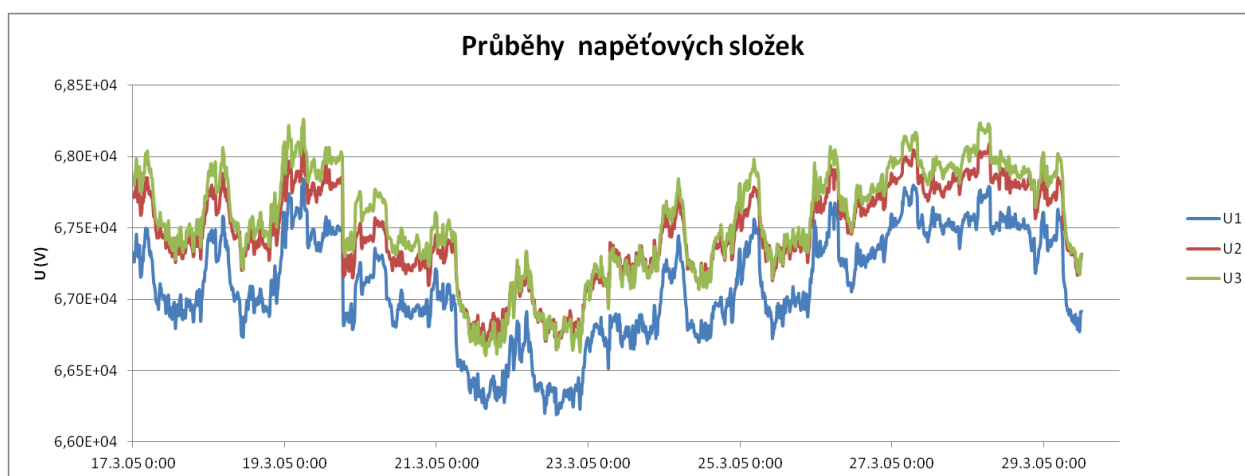
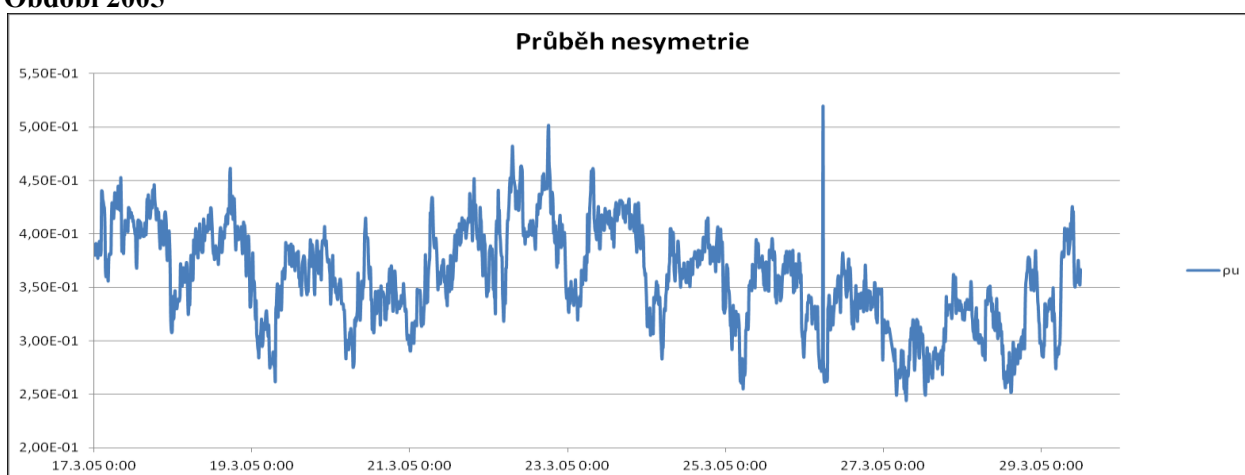
	95% hodnota nesymetrie	maximální hodnota nesymetrie
Období 2005	0,44	0,50
Období 2008	0,93	1,16
Období 2012	0,79	0,88



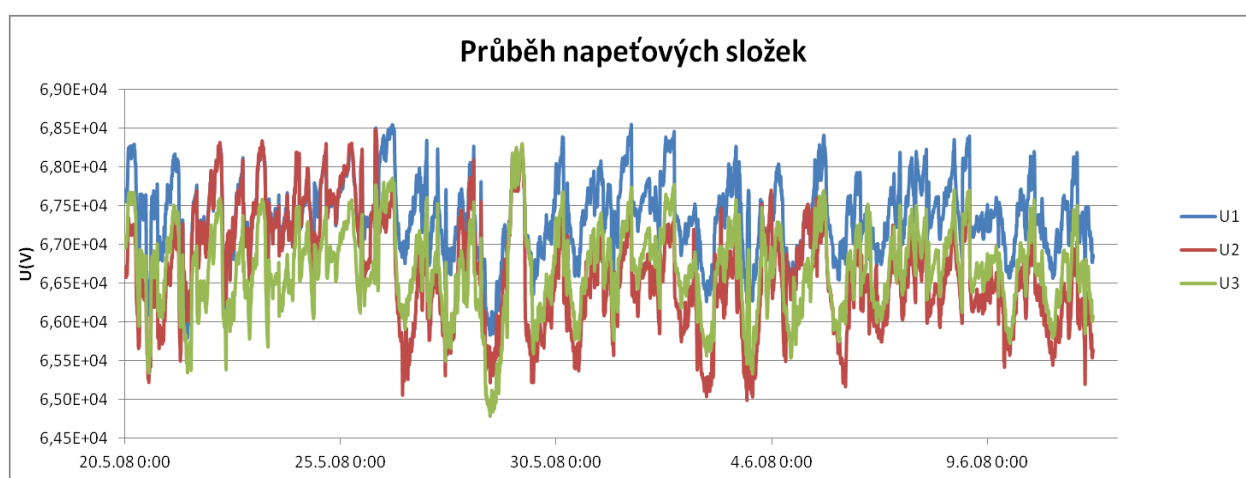
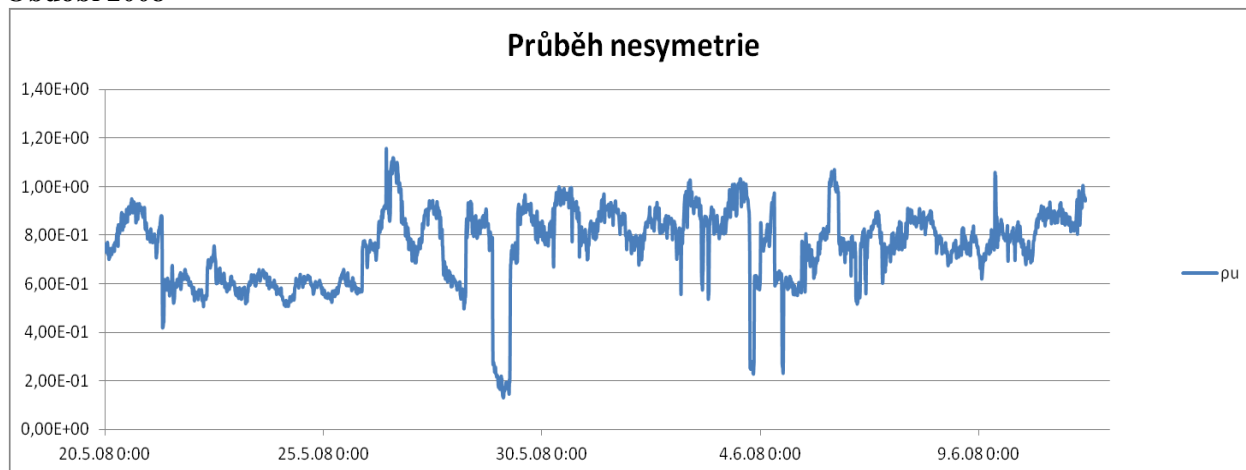
Z tabulky a grafu lze vidět, že hodnoty splňují podmínku ČSN EN 50160

Ukázka průběhů nesymetrie a složek napětí za jednotlivá měřená období

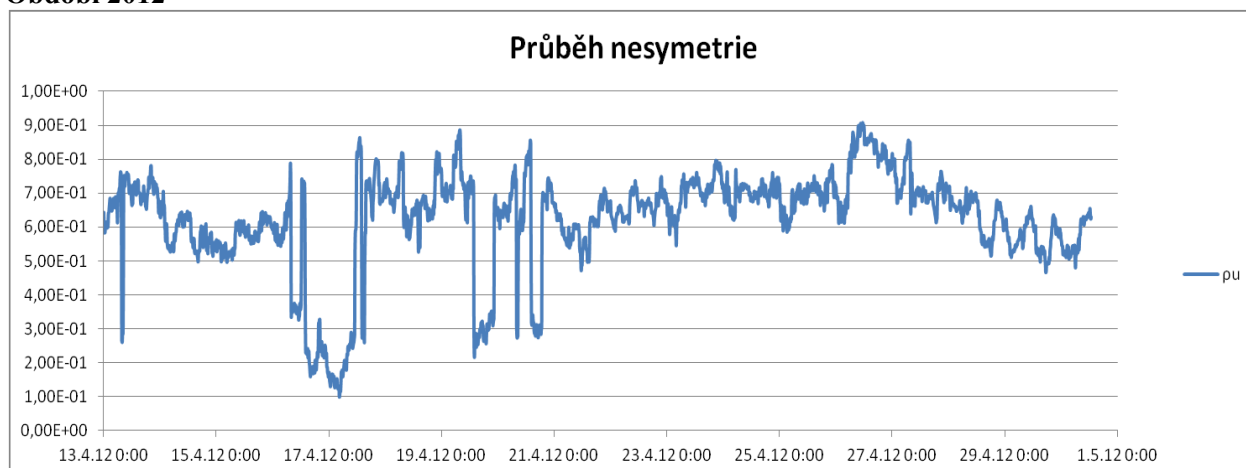
Období 2005

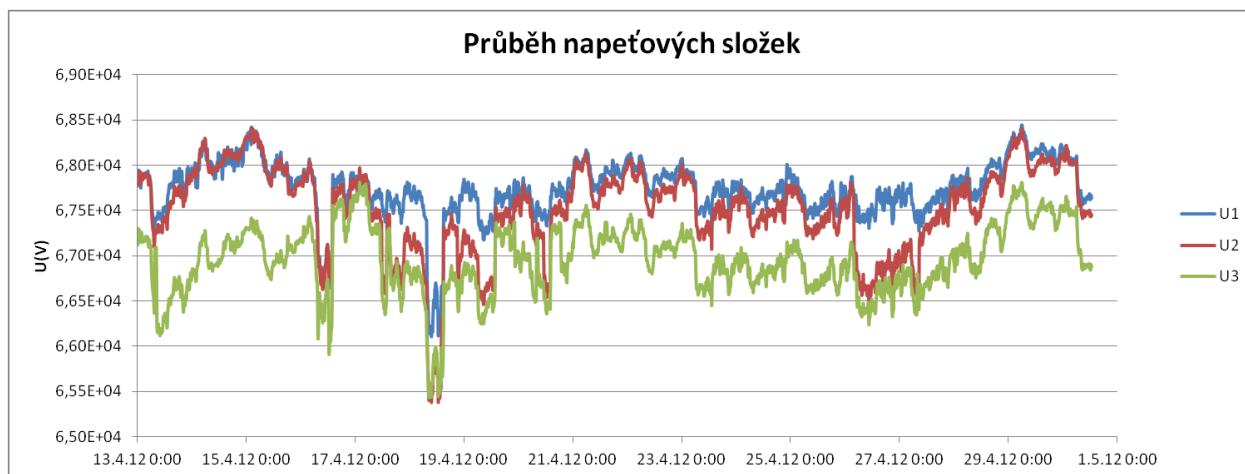


Období 2008



Období 2012





Závěr

Cílem práce bylo rozebrat problematiku Energetiky dopravních systému. Z počátku jsem nastínil rozdělení podle druhu (střídavé, stejnosměrné) a hladin napětí (250, 600, 750, 1500, 3000, 25000 V), které jsou voleny pro jednotlivá místa využití (hlavní tratě ČD, MHD, průmyslové dráhy, důlní dráhy). Následně jsem uvedl rozdělení podle přívodu zdroje energie na závislou a nezávislou trakci. V dnešní době má velký rozmach závislá trakce díky elektrifikování tratí, z nezávislé trakce se dnes používají dieselelektrické a benzínoelektrické lokomotivy do míst, kde nebyla trať dosud elektrifikována nebo se jí nevyplatí vůbec elektrifikovat (malé zastávky mimo hlavní tratě). Uvedl jsem zde i krátké srovnání starších lokomotiv dosud provozovaných na tratích ČD s novějšími lokomotivami řady 680 (Pendolino), kde jsem uvedl srovnání ztrát, které jsou u starších vozidel značně větší, pro daný příklad (pouze 1 lokomotiva na trati) vyšly o 42% větší. Velká část práce je věnována TNS, rozdělené na TNS pro stejnosměrnou soustavu 3 kV a střídavou soustavu 25 kV. Vybudování TNS pro stejnosměrnou soustavu 3 kV přímo ze sítě 110 kV by vyžadovalo transformátor, který se složitě vyrábí, z tohoto důvodu se používá napájení měnícen stejnosměrných 3 kV s vysokonapěťovým mezinapětím 22 kV. Výstavba transformovny 110/22 kV čistě pro trakční účely by byla neekonomická, z tohoto důvodu jsou společné pro elektrickou vozbu a všeúčelný konzum. TNS pro střídavou soustavu 25 kV jsou napájeny přímo ze sítě 110 kV. Na závěr jsou zde zmíněny nepříznivé účinky elektrické trakce, kam patří bludné proudy a nesymetrie. Bludné proudy mohou způsobit korozi úložných zařízení, proto je nutné je chránit buďto použitím pasivní nebo aktivní ochrany. Velkým problémem je nesymetrie, kterou způsobuje jednofázová trakční proudová soustava. Dovolená napěťová nesymetrie dle ČSN EN 50160 je 2%. Nesymetrii můžeme omezit zapojením transformátoru například V-spojení, nebo se používají speciální transformátory Scottův, Leblancův. Z nichž je nejvíce rozšířen Scottův transformátor, u kterého je při stejném zatížení obou napájecích úseků nulová nesymetrie.

Použité zdroje literatury:

- [1] Vývoj podílu elektrické trakce na celkovém výkonu dopravy. KALINA, Jiří. [online] [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://jza.smerem.cz/Skola/PZPDK/prace.pdf>
- [2] Horák, K., Drábek, J., Paleček, J., Pokorný, M.: Energetika a trakce, ALFA, Bratislava, 1983
- [3] Trakční napájecí soustava pro vozidla řady 680. HLAVA, Karel. [online]. [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.cd rail.cz/VTS/CLANKY/1308.pdf>
- [4] Chránění generátoru při nesymetrickém zatížení. KUBA, Petr [online]. [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18936
- [5] <http://www.elcom.cz/virtualni-instrumentace/produkty/bk-elcom2/clanek/364-ena330.html>
- [6] Krejčí P.: Problematika napěťové nesymetrie v 3-fázových soustavách, Diplomová práce, VŠB-TU Ostrava, FEI, 1998